

基于HS-SPME-GC-MS技术的‘雷司令’低醇葡萄酒香气特征研究

刘彦彦¹,王美琪¹,武 运^{1*},王鹏宇¹,朱嘉伟¹,蒲富娟¹,许 娜¹,党国芳²,陈新军²

(1.新疆农业大学 食品科学与药学学院,新疆 乌鲁木齐 830052;2.新疆尼雅葡萄酒有限公司,新疆 玛纳斯 832200)

摘要:以‘雷司令’干白葡萄酒为原料,采用渗透蒸发法制备‘雷司令’低醇葡萄酒。采用顶空-固相微萃取-气相色谱-质谱联用(HS-SPME-GC-MS)技术,分析‘雷司令’干白葡萄酒与‘雷司令’低醇葡萄酒样品的挥发性风味物质成分差异,通过相对气味活度值(ROAV)筛选关键风味物质,并对结果进行主成分分析(PCA)。结果表明,‘雷司令’干白葡萄酒与‘雷司令’低醇葡萄酒分别检测出48种和35种挥发性风味物质。通过渗透蒸发法将干白葡萄酒酒精度由11.01%vol显著降低至1.52%vol(低醇葡萄酒),同时低醇葡萄酒体酸类、醇类物质占比分别提升了16.45%、4.20%,酯类物质下降了20.52%。主成分分析结果表明,两类酒样在挥发性风味物质特征上有显著差异,PCA可以有效区分干白葡萄酒及低醇葡萄酒。通过ROAV值筛选出低醇葡萄酒中辛酸乙酯、 α -紫罗兰酮和己酸乙酯等8种关键挥发性风味物质(ROAV>1),这些化合物为低醇葡萄酒贡献了菠萝和苹果的水果香气、紫罗兰香、中草药香及木质香气。该研究为渗透蒸发技术应用于低醇葡萄酒生产的香气调控提供理论依据。

关键词:渗透蒸发法;‘雷司令’干白葡萄酒;‘雷司令’低醇葡萄酒;挥发性风味物质

中图分类号:TS262.6 文章编号:0254-5071(2025)08-0270-07 doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2025.08.039

引文格式:刘彦彦,王美琪,武运,等. 基于HS-SPME-GC-MS技术的‘雷司令’低醇葡萄酒香气特征研究[J]. 中国酿造,2025,44(8):270-276.

Aroma characteristics of 'Riesling' low-alcohol wine based on HS-SPME-GC-MS

LIU Yanyan¹, WANG Meiqi¹, WU Yun^{1*}, WANG Pengyu¹, ZHU Jiawei¹, PU Fujuan¹, XU Na¹, DANG Guofang², CHEN Xinjun²

(1.College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2.Xinjiang Niya Wine Co., Ltd., Manas 832200, China)

Abstract: 'Riesling' low-alcohol wine was prepared from 'Riesling' dry white wine by using pervaporation method. The differences in volatile flavor components between 'Riesling' dry white wine and 'Riesling' low-alcohol wine were analyzed by headspace-solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). Key flavor substances were screened by relative odor activity value (ROAV), and the results were subjected to principal component analysis (PCA). The results showed that 48 and 35 volatile flavor substances were detected in 'Riesling' dry white wine and 'Riesling' low-alcohol wine, respectively. By using the osmotic evaporation method, the alcohol content of the dry white wine was significantly reduced from 11.01%vol to 1.52%vol (low-alcohol wine). Meanwhile, the proportion of acid and alcohol substances in the low-alcohol wine increased by 16.45% and 4.20%, respectively, while the proportion of esters decreased by 20.52%. Principal component analysis indicated that there were significant differences in volatile flavor components characteristics between the 2 types of wine samples, and the dry white wine and low-alcohol wine could be distinguished effectively by PCA. Eight key volatile flavor components substances (ROAV>1) were screened in the low-alcohol wine, including ethyl octanoate, α -ionone, and ethyl caproate, etc. These compounds contributed the fruity aromas of pineapple and apple, violet aroma, herbal aroma and woody aroma to the low-alcohol wines. The study provided a theoretical basis for the application of pervaporation technology in aroma regulation of low-alcohol wine production.

Key words: pervaporation method; 'Riesling' dry white wine; 'Riesling' low-alcohol wine; volatile flavor component

目前,低醇葡萄酒凭借其低酒精含量与高品质特性脱颖而出,成为葡萄酒产业转型升级过程中的一个重要突破点。根据我国2022年6月1日起实施的GB/T 17204—2021《饮料酒术语和分类》的定义,低醇葡萄酒是指通过特殊工艺如反渗透或真空蒸馏等技术,从普通葡萄酒中去除大部分酒精而制成的,酒精度为0.5%vol~7.0%vol的葡萄酒。低醇葡萄酒的口感以清新爽口为主导,由于酒精含量较低,品

尝时不容易感到沉闷,使得整体口感更为轻松宜人,它保留了葡萄本身的果香,并更突显了水果的自然甜味,成为喜欢清新水果味道人士的最佳选择。相比高酒精度葡萄酒可能带来的火辣感,低醇葡萄酒更注重口感的平衡和细腻度,酒体更为轻盈,品鉴者能够更好地感受到葡萄的多层次风味。此外,低醇葡萄酒通常含有较低的卡路里,适合追求低热量饮品的人群^[1]。然而,低醇葡萄酒市场推广仍面临

收稿日期:2025-04-11

修回日期:2025-06-05

基金项目:国家“863”计划项目(2007AA10Z320);国家自然科学基金资助项目(30471225)

作者简介:刘彦彦(2002-),女,本科生,研究方向为葡萄酒品质研究。

*通讯作者:武 运(1965-),女,教授,硕士,研究方向为农产品加工与资源利用。

诸多挑战,由于生产工艺尚不完善,导致产品品质参差不齐,低醇葡萄酒挥发性香气物质损失,这直接影响了消费者的感官享受和产品接受度。

在众多脱醇工艺中,渗透蒸发(pervaporation,PV)法凭借其低能耗特点被广泛应用于葡萄酒产品的开发中^[2]。ESTERAS-SAZ J等^[3]利用渗透蒸馏对红葡萄酒进行部分脱醇,发现在低温下条件下利用疏水膜材料制备的葡萄酒香气化合物损失更少;CASTRO-MUNOZ R等^[4]研究发现,渗透蒸发法结合聚二甲基硅氧烷(polydimethylsiloxane,PDMS)膜可脱除90%以上乙醇,保留85%以上的香气成分;PENG P等^[5]采用渗透汽化膜技术生产脱醇葡萄酒,发现相较于传统脱醇工艺总成本降低15%~20%。尽管渗透蒸发法在葡萄酒脱醇中展现出显著优势,但不同品种葡萄酒在脱醇过程中香气物质的保留规律仍待深入研究。

本研究以‘雷司令’干白葡萄酒为原料,采用渗透蒸发法制备‘雷司令’低醇葡萄酒,采用葡萄酒成分快速分析仪及顶空-固相微萃取-气相色谱质谱联用(headspace solid phase micro-extraction gas chromatography-mass spectrometry,HS-SPME-GC-MS)技术,分析‘雷司令’低醇葡萄酒与其原酒理化指标及挥发性香气物质,并对结果进行主成分分析(principal component analysis,PCA)。通过相对气味活度值(relative odor activity values,ROAV)筛选关键风味物质,探究‘雷司令’低醇葡萄酒的特征香气成分和关键呈香物质,为‘雷司令’低醇葡萄酒挥发性香气成分研究提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

‘雷司令’干白葡萄酒:新疆尼雅葡萄酒有限公司;乙醇(分析纯):上海阿拉丁生化科技股份有限公司;氘代正己醇-d13(纯度98.5%):安诺伦(北京)生物科技有限公司;正构烷烃(均为色谱纯):美国Sigma-Aldrich公司;正己烷(色谱纯):永华化学股份有限公司。

1.2 仪器与设备

渗透蒸发设备:新疆尼雅葡萄酒有限公司;DVB/CAR/PDMS固相微萃取头、萃取手柄:美国Supelco公司;Agilent 8890A气相色谱质谱联用仪:美国LECO公司;BSA214S-CW型分析天平:北京赛多利斯科学仪器有限公司;WineScan™ Flex葡萄酒成分快速分析仪:丹麦福斯有限公司;DB-Heavy Wax色谱柱(30 m×250 μm×0.5 μm):美国Agilent科技(中国)有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 渗透蒸发法制备低醇葡萄酒

参考吕泽^[6]的方法,利用渗透蒸发装置对‘雷司令’干白葡萄酒原酒进行脱醇,酒精、部分水及部分挥发性成分透过膜被过滤,未透过膜一侧的原料酒精度不断降低,得到酒精度在1%vol左右的‘雷司令’低醇葡萄酒基酒。

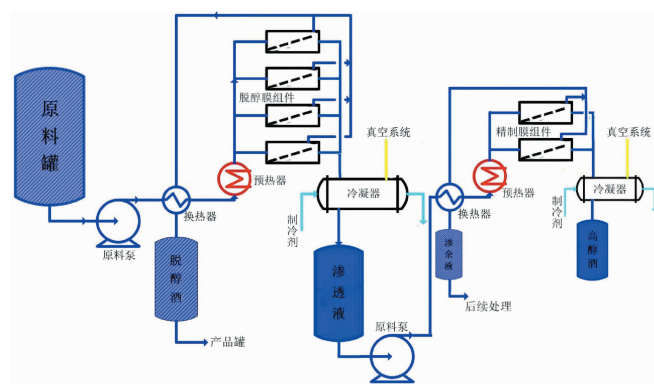


图1 渗透蒸发法脱醇装置图

Fig. 1 Diagram of alcohol removal device by pervaporation method

1.3.2 基础理化指标检测

酒精度、总酸、总糖、挥发酸含量和pH值的测定:采用葡萄酒成分快速分析仪测定。

1.3.3 挥发性风味成分的测定

挥发性风味成分的测定采用HS-SPME-GC-MS法^[7]。

样品前处理:采用HS-SPME法。精确移取1 mL‘雷司令’样本至20 mL顶空进样瓶中,加入4 mL饱和氯化钠水溶液;将装有样本的顶空进样瓶放置在50℃条件下,孵育10 min;吸附样本前,SPME萃取头在270℃条件下,老化10 min;将老化后的SPME萃取头转移至孵育室,在50℃条件下,吸附样本20 min,将SPME萃取头转移至GC进样口,在250℃条件下,脱附5 min;进样后,SPME萃取头在270℃条件下,老化10 min,取10 μL正构烷烃至20 mL顶空进样瓶中孵育,进样。

GC条件:选择DB-Heavy Wax色谱柱(30 m×250 μm×0.5 μm),载气为高纯氦气(He)。进样口温度为270℃,采取不分流模式进行进样,流速1.0 mL/min。升温程序为初始温度40℃,保持3 min,以6℃/min升温至200℃,最后以10℃/min升至250℃,保持5 min。

MS条件:采用电子电离(electronic ionization,EI)源;质谱传输线温度为250℃;离子源温度为250℃;采集速率为10 spectra/s;电子能量为70 eV;检测器电压为2 014 V;质谱扫描范围为35~550 m/z。

定性定量方法:挥发性风味物质根据美国国家标准技术研究所(National Institute of Standards and Technology,NIST)标准谱库检索定性,采用面积归一化法计算各挥发性组分的相对含量。

1.3.4 相对气味活度值计算

相对气味活度值(ROAV)是用于评价各种挥发性化合物对样品总体风味贡献程度^[8]。若ROAV>1,说明该化合物对香气具有显著贡献,被定义为关键风味物质;若ROAV<1,说明该化合物浓度低于阈值,贡献较小或可忽略。对样品风味贡献最大的组分ROAV_{max}=100.00,且ROAV>100的化

合物全部按100.00表示。ROAV计算公式如下：

$$ROAV_i = \frac{C_i}{C_{max}} \times \frac{T_{max}}{T_i} \times 100$$

式中： C_i 和 C_{max} 分别是化合物*i*和风味贡献最大化合物的相对含量，%； T_i 和 T_{max} 分别是化合物*i*和风味贡献最大化合物的香气阈值，μg/kg。

1.3.5 数据分析

每组试验数据均重复3次。Microsoft Office Excel 2016 软件进行基础数据处理；IBM SPSS Statistics 26.0软件进行统计分析；Origin Lab 2021软件绘制柱状图；SIMCA 14.0软件进行主成分分析(PCA)。

2 结果与分析

2.1 基础理化指标分析

‘雷司令’干白葡萄酒及‘雷司令’低醇葡萄酒酒样基

本理化指标测定结果见表1。由表1可知，所测酒样的基本理化指标均符合GB/T 15037—2006《葡萄酒》的要求。‘雷司令’干白葡萄酒酒精度、总酸、总糖、挥发酸、pH值分别为11.01%vol、5.90 mg/L、0.27 g/L、0.40 g/L、3.63，‘雷司令’低醇葡萄酒酒精度、总酸、总糖、挥发酸分别为1.52%vol、10.80 mg/L、4.00 g/L、0.50 g/L、3.60。与‘雷司令’干白葡萄酒比较，‘雷司令’低醇葡萄酒酒精度显著下降($P<0.05$)，符合GB/T 17204—2021《饮料酒术语和分类》中低醇葡萄酒的酒精度标准。总酸、总糖含量显著升高($P<0.05$)，推测可能是PDMS复合膜对葡萄酒中有机酸的截留率较高，对乙醇的透过率较高导致的^[2]；总糖含量上升推测可能是由于分离过程中部分水被过滤，而糖类化合物沸点较高较难被分离，因此被富集在低醇酒中^[9]。

表1 ‘雷司令’葡萄酒原酒和‘雷司令’低醇葡萄酒基础理化指标测定结果
Table 1 Determination results of basic physicochemical indexes of ‘Riesling’ original wine and ‘Riesling’ low-alcohol wine

酒样	酒精度/%vol	总酸/(mg·L ⁻¹)	总糖/(g·L ⁻¹)	挥发酸/(g·L ⁻¹)	pH值
‘雷司令’干白葡萄酒	11.01±0.02a	5.90±0.87b	0.27±0.06b	0.40±0.05a	3.63±0.01a
‘雷司令’低醇葡萄酒	1.52±0.02b	10.80±1.03a	4.00±0.23a	0.50±0.08a	3.60±0.04a

注：同列数据小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 挥发性风味物质比较分析

通过HS-SPME-GC-MS技术测定‘雷司令’干白葡萄酒及‘雷司令’低醇葡萄酒中挥发性风味物质，结果见表2。由表2可知两个酒样中共检出48种挥发性风味物质，包括醇类12种，酯类21种，酸类7种，萜烯类5种和醛类3种。‘雷司令’干白葡萄酒共检出43种挥发性风味物质，包括醇类12种，酯类19种，酸类6种，萜烯类4种和醛类2种；‘雷司令’低醇葡萄酒共检出35种挥发性风味物质，包括8种醇类、16种酯类、7种酸类、2种萜烯类和2种醛类。

表2 ‘雷司令’干白葡萄酒和‘雷司令’低醇葡萄酒挥发性风味物质含量GC-MS分析结果

Table 2 Results of volatile flavor components contents in ‘Riesling’ dry white wine and ‘Riesling’ low-alcohol wine analysis by GC-MS

序号	保留时间/min	化合物	CAS	相对含量/%	
				干白葡萄酒	低醇葡萄酒
1	19.18	丁二酸二乙酯	123-25-1	4.28±1.29a	19.73±1.28a
2	15.10	乙酸辛酯	112-14-1	0.02±0.01a	0.06±0.02b
3	10.55	乙酸己酯	142-92-7	11.90±0.55a	0.40±0.08b
4	16.36	壬酸乙酯	123-29-5	0.02±0.01a	0.03±0.01a
5	12.22	乳酸乙酯	97-64-3	2.46±0.84b	10.26±1.49a
6	18.78	辛酸异戊酯	2035-99-6	0.03±0.01a	/
7	25.44	γ-壬内酯	104-61-0	0.01±0.00a	0.01±0.00a
8	22.21	月桂酸乙酯	106-33-2	0.07±0.03a	/
9	14.23	辛酸乙酯	106-32-1	9.58±3.01a	1.30±0.06b
10	9.62	己酸乙酯	123-66-0	10.93±0.78a	3.49±0.07b

续表

序号	保留时间/min	化合物	CAS	相对含量/%	
				干白葡萄酒	低醇葡萄酒
11	7.00	乙酸异戊酯	123-92-2	14.34±2.41a	0.64±0.09b
12	7.20	戊酸乙酯	539-82-2	/	0.07±0.06a
13	16.62	乙酸芳樟酯	115-95-7	/	0.01±0.01a
14	17.07	乳酸异戊酯	19329-89-6	0.09±0.02a	0.04±0.01a
15	8.16	乙酸戊酯	628-63-7	0.08±0.03a	/
16	19.00	苯甲酸乙酯	93-89-0	0.02±0.00a	0.01±0.01a
17	23.06	3-羟基辛酸乙酯	7367-90-0	0.01±0.00b	0.03±0.00a
18	18.41	癸酸乙酯	110-38-3	3.38±1.66a	0.07±0.01b
19	21.76	2-苯乙基乙酸酯	103-45-7	2.38±0.72a	3.17±0.18b
20	21.06	水杨酸甲酯	119-36-8	0.01±0.00a	/
21	12.23	2-己烯酸乙酯	1552-67-6	0.23±0.07a	/
酯类/种				19	16
酯类占比/%				59.84	39.32
22	14.58	1-辛烯-3-醇	3391-86-4	0.04±0.01a	/
23	13.77	顺式2-己烯-1-醇	928-94-9	0.02±0.01a	/
24	11.84	3-甲基-1-戊醇	589-35-5	0.10±0.03a	/
25	23.46	2-苯乙醇	60-12-8	4.34±0.62b	4.13±0.17a
26	20.78	正癸醇	112-30-1	0.04±0.02a	/
27	22.86	苯甲醇	100-51-6	0.06±0.01b	3.71±0.48a
28	12.44	正己醇	111-27-3	6.09±0.47a	11.07±0.38a
29	7.59	正丁醇	71-36-3	0.16±0.03a	0.40±0.02a
30	9.05	异戊醇	123-51-3	9.89±2.26a	5.88±0.57b
31	13.14	顺式-3-己烯醇	928-96-1	0.13±0.01a	0.04±0.02b

续表

序号	保留时间/ min	化合物	CAS	相对含量/%	
				干白葡萄酒	低醇葡萄酒
32	10.07	正戊醇	71-41-0	0.06±0.01a	0.05±0.00a
33	12.91	反式-3-己烯-1-醇	544-12-7	0.17±0.13a	0.02±0.00b
		醇类/种		12	8
		醇类占比/%		21.10	25.30
34	16.70	α-紫罗兰酮	475-03-6	/	0.01±0.00a
35	19.56	α-松油醇	98-55-5	0.04±0.01a	0.04±0.01a
36	20.85	香茅醇	106-22-9	0.04±0.01a	/
37	16.62	芳樟醇	78-70-6	0.07±0.02a	/
38	17.71	4-萜烯醇	562-74-3	0.02±0.00a	/
		萜烯类/种		4	2
		萜烯类占比/%		0.17	0.05
39	25.92	辛酸	124-07-2	10.43±3.98a	14.84±0.37b
40	27.58	壬酸	112-05-0	0.95±0.12b	2.34±0.43a
41	14.79	乙酸	64-19-7	0.80±0.36b	9.54±0.88a
42	29.18	癸酸	334-48-5	4.78±0.76a	0.86±0.29b
43	18.35	丁酸	107-92-6	/	1.60±0.10a
44	19.13	异戊酸	503-74-2	0.16±0.04b	0.61±0.05a
45	22.33	己酸	142-62-1	1.68±0.32b	5.46±0.96a
		酸类/种		6	7
		酸类占比/%		18.80	35.25
46	14.98	糠醛	98-01-1	0.05±0.01a	/
47	10.96	正辛醛	124-13-0	0.04±0.01a	0.07±0.01a
48	17.24	5-甲基糠醛	620-02-0	/	0.01±0.00a
		醛类/种		2	2
		醛类占比/%		0.09	0.08

注：“/”表示未检出。

‘雷司令’干白葡萄酒共检出19种酯类,占总挥发性物质的59.84%;共检出12种醇类,占总挥发性物质的21.10%;共检出6种酸类,占总挥发性物质的18.80%。乙酸异戊酯、乙酸己酯、己酸乙酯、辛酸、异戊醇和辛酸乙酯分别占总挥发性物质的14.34%、11.90%、10.93%、10.43%、9.89%和9.58%。结果表明,酯类和醇类是‘雷司令’干白葡萄酒挥发性物质组成的主要贡献物质。师旭等^[10]以‘雷司令’葡萄为原料制备干白葡萄酒并分析其香气物质组成,结果发现‘雷司令’干白葡萄酒中相对含量较高的挥发性香气成分主要为乙酸异戊酯、乙酸己酯、乙酸乙酯和正癸酸等9种物质,且酒体酯类物质相对含量最高,其次为醇类,与本研究一致。

‘雷司令’低醇葡萄酒共检出16种酯类,占总挥发性物质39.32%;共检出8种醇类,占总挥发性物质的25.30%;共检出7种酸类,占总挥发性物质的35.25%。‘雷司令’低醇葡萄酒中酯类物质占比最大,酸类其次,酸类物质占比提升了16.45%,醇类物质占比提升了4.20%,酯类物质占比下降了20.52%。丁二酸二乙酯、辛酸、正己醇、乳酸乙酯和乙酸

成为‘雷司令’低醇酒挥发性物质组成的主要贡献物质,相较于‘雷司令’干白葡萄酒,其含量分别提升了15.45%、4.41%、4.98%、7.80%和8.74%。

适量挥发酸存在对葡萄酒风味形成有着重要作用^[11]。相较于‘雷司令’干白葡萄酒,‘雷司令’低醇葡萄酒中酸类物质均大幅提升,仅正癸酸含量下降3.92%,其余酸类物质相对含量均显著提升($P<0.05$),其中乙酸占比提升了8.74%,辛酸占比提升了4.41%。王美琪等^[12]利用渗透汽化膜分离技术制备低醇葡萄酒和葡萄烈酒并分析香气组成,研究发现,‘雷司令’低醇酒良好保留了原酒的正己酸、辛酸和癸酸,一定程度增加了酒体香气的复杂度。乙酸是葡萄酒中的主要挥发酸,与其他成分有协同作用以增加香气复杂性^[13-14]。

高级醇含量较低时可增强葡萄酒香气复杂程度,丰富酒体香气层次感^[15],正己醇增加会加重葡萄酒生青味、青草味^[16],苯甲醇增加则赋予酒体烘烤味和甜味^[17]。相较于‘雷司令’干白葡萄酒,‘雷司令’低醇葡萄酒中苯甲醇、正己醇和正丁醇相对含量呈上升趋势,分别提高了3.65%、4.98%和0.24%,其余醇类物质相对含量均下降,其中异戊醇相对含量下降了4.01%。吕泽等^[18]利用渗透汽化膜设备生产脱醇葡萄酒,结果表明,相较于‘雷司令’干白葡萄酒,脱醇酒中醇类物质含量大幅减少,酸类含量有较明显的提升,可见PDMS膜对于醇类物质的透过率较高,这与本研究结果一致。

酯类产生于葡萄酒发酵或陈酿期间,由醇类和酸类酯化形成,具有烘托主体香的作用^[19]。乙酯类能够赋予酒体更多的果香和花香,减少脂肪气味^[20],相较于‘雷司令’干白葡萄酒,‘雷司令’低醇葡萄酒中乙酯类含量提高了4.01%,其中丁二酸二乙酯和乳酸乙酯相对含量分别显著提升了15.45%和7.80%,增加了酒体的清爽度,月桂酸乙酯和2-己烯酸乙酯在低醇酒中未检出。乙酸酯类物质含量下降了12.93%,乙酸戊酯在酒体未检出。其他酯类中乙酸己酯含量显著下降($P<0.05$), γ -壬内酯含量不变,而辛酸异戊酯和水杨酸甲酯在酒体中未检出。

‘雷司令’低醇葡萄酒未检出糠醛类物质,而其余醛类物质相对含量均呈上升趋势。萜烯类化合物的嗅觉阈值较低,能为葡萄酒带来玫瑰和柠檬等清新香气,但其占香气总成分比例低^[21]。‘雷司令’低醇葡萄酒中仅检出2种萜烯类物质,其中α-紫罗兰酮为新增物质,推测可能是由于类胡萝卜素发生水解后在酸性条件下分子重排而形成的^[22]。‘雷司令’干白葡萄酒经脱醇后酸类物质增多,为α-紫罗兰酮形成良好条件。‘雷司令’低醇葡萄酒中α-松油醇相对含量不变,香茅醇、芳樟醇和4-萜烯醇类物质均未检出。

2.3 ‘雷司令’干白葡萄酒及‘雷司令’低醇葡萄酒挥发性风味物质共性及差异分析

Upset是一种常见的数据可视化工具,用于展示两个不同数据集之间的交集和差异。‘雷司令’干白葡萄酒及‘雷司令’低醇葡萄酒挥发性风味物质Upset分析结果见图2。由图2可知,两种酒样共有挥发性风味物质有30种,分别为14种酯类(3种乙酸酯类、7种乙酯类和4种其他酯类),8种醇类,6种酸类,1种醛类,1种萜烯类。这30种挥发性风味化合物在‘雷司令’干白葡萄酒及‘雷司令’低醇葡萄酒中的含量分别占总挥发性物质含量的99.27%和98.37%,可见低醇酒保留了原酒绝大部分主要香气物质种类和组成。

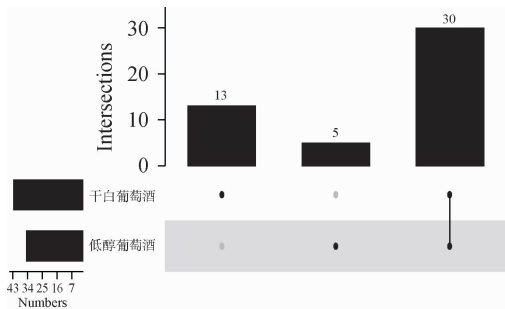


图2 ‘雷司令’干白葡萄酒及‘雷司令’低醇葡萄酒挥发性风味物质Upset分析图

Fig. 2 Upset analysis diagram of volatile flavor components of ‘Riesling’ dry white wine and ‘Riesling’ low-alcohol wine

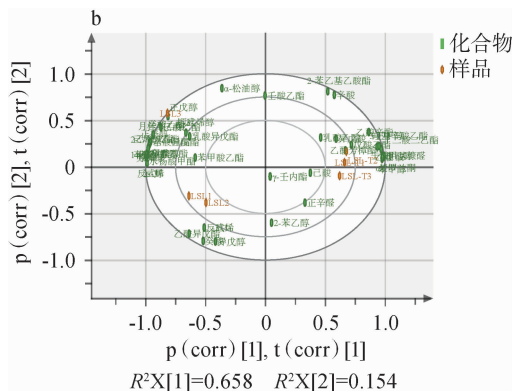
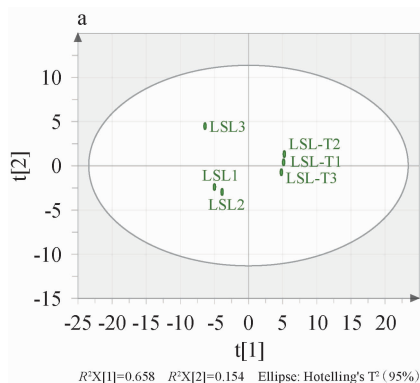
结合表2和图2可知,‘雷司令’干白葡萄酒中独有的挥发性风味物质有13种,分别为1-辛烯-3-醇、顺式2-己烯-1-醇、3-甲基-1-戊醇、正癸醇、辛酸异戊酯、月桂酸乙酯、乙酸戊酯、水杨酸甲酯、2-己烯酸乙酯、糠醛、香茅醇、芳樟醇和4-萜烯醇,‘雷司令’低醇葡萄酒独有的挥发性风味化合物有5种,分别为丁酸、戊酸乙酯、乙酸芳樟酯、5-甲基糠醛和 α -紫罗兰酮。

2.4 ‘雷司令’干白葡萄酒及‘雷司令’低醇葡萄酒挥发性风味物质主成分分析

为了筛选低‘雷司令’醇葡萄酒特征成分,对‘雷司令’干白葡萄酒和低醇葡萄酒的48种挥发性风味物质进行主成分分析(PCA),结果见图3。由图3a可知,试验样本中共提取了2个主成分,两者累计方差贡献率达81.2%,能够解释原始数据的大部分信息。两种供试酒样表现出较好的组内聚集趋势,可见平行样品间重复性较好。而组间距离较远,因此‘雷司令’干白葡萄酒和‘雷司令’低醇葡萄酒的香气特征存在显著差异,PCA可以有效区分干白葡萄酒及低醇葡萄酒。

各挥发性物质的分布与品种形成一定聚类趋势,当挥发性物质在某一种类中相对含量远高于其他种类的物质,该物质可作为特征成分^[23],由图3b可知,第一主成分主要反映酯类和酸类整体平衡,低醇酒在第一主成分的得分更高,可见酯类和酸类物质是低醇酒挥发性风味物质的主要

贡献成分,第二主成分则反映萜烯类物质信息,干白葡萄酒在第二主成分的得分更高,可见相较于低醇酒,原酒中萜烯类物质为酒体香气的复杂度做出贡献,提供了丁香和玫瑰花等花香和茴香。由聚类情况可知,‘雷司令’低醇葡萄酒的挥发性特征成分为乙酸芳樟酯、异戊酸、戊酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸辛酯,为酒体提供了较强的水果香气。



LSL代表‘雷司令’干白葡萄酒,LSL-T代表‘雷司令’低醇葡萄酒。

图3 ‘雷司令’干白葡萄酒和低醇葡萄酒基于挥发性风味物质主成分分析得分图(a)及载荷图(b)

Fig. 3 Score chart (a) and load chart (b) of principal component analysis based on volatile flavor components of ‘Riesling’ dry white wine and ‘Riesling’ low-alcohol wine

2.5 ‘雷司令’干白葡萄酒及‘雷司令’低醇葡萄酒关键香气物质筛选

ROAV是评价香气组分对葡萄酒感官质量贡献程度的重要指标,一般认为 $ROAV>1$ 的组分是酒体的关键香气成分,对整体香气表现具有直接贡献,而 $0.1<ROAV<1$ 的物质对酒体香气特征起到协同作用。分析供试酒样中挥发性成分对主体挥发性成分的贡献,发现‘雷司令’干白葡萄酒中贡献最大的挥发性风味物质是乙酸己酯;‘雷司令’低醇葡萄酒中贡献最大挥发性风味物质为己酸乙酯。虽未查到壬酸的香气阈值,但其在低醇酒中相对含量较高,也为酒体带来了一定特殊香气。

‘雷司令’干白葡萄酒及‘雷司令’低醇葡萄酒中 $ROAV\geq 0.1$ 的挥发性风味物质见表3。由表3可知,两种葡萄酒中共

有ROAV ≥ 0.1 挥发性风味物质12种。‘雷司令’干白葡萄酒中ROAV ≥ 10 的挥发性香气物质有3种,分别为己酸乙酯、辛酸乙酯和乙酸异戊酯,为酒体提供了浓郁的菠萝、香蕉、青苹果和草莓等水果香气。0.1<ROAV<1的挥发性香气物质有5种,分别为辛酸、己酸、正己醇、癸酸乙酯和乙酸苯乙酯,对酒体香气起到修饰作用,提供了少许的奶酪味和薰衣草香气。王龙霞等^[24]研究发现,‘霞多丽’葡萄酒酒精发酵阶段,癸酸乙酯浓度逐渐增加,为葡萄酒增加了果香和花香,而辛酸、己酸与其他物质则共同影响着酒体稳定性,郑茗源等^[25]研究‘白玫瑰’和‘红玫瑰’两种葡萄酒香气构成时发现癸酸乙酯是干白葡萄的主要酯类香气贡献物质之一,与本研究结果一致。

表3 ‘雷司令’干白葡萄酒和‘雷司令’低醇葡萄酒中ROAV ≥ 0.1 的挥发性风味物质

Table 3 Volatile flavor components (ROAV ≥ 0.1) in ‘Riesling’ dry white wine and ‘Riesling’ low-alcohol wine

序号	化合物	阈值 ^[26-32]	ROVA		香气描述 ^[26-32]
			干白葡萄酒	低醇葡萄酒	
1	乙酸己酯	5	100.00	11.42	果香、药草香
2	辛酸乙酯	5	80.47	37.14	菠萝味、苹果味
3	己酸乙酯	5	91.80	100.00	菠萝、香蕉、青苹果、草莓水果香
4	乙酸异戊酯	30	20.09	3.05	香蕉味
5	癸酸乙酯	200	0.71	0.05	水果香、梨香、脂肪味
6	乙酸苯乙酯	420	0.24	1.08	草莓味
7	正己醇	1 000	0.26	1.59	浆果味、熏衣味、苹果味
8	α -紫罗兰酮	0.09	0.44	19.11	紫罗兰、木香
9	芳樟醇	15	0.19	0.00	玫瑰花香、柑橘香、果香、甜香
10	辛酸	1 000	0.44	2.13	奶酪味、涩味
11	丁酸	1 000	0.0	0.23	果香、奶酪香或奶油香
12	己酸	420	0.17	1.86	脂肪味、奶酪味

‘雷司令’低醇葡萄酒共筛选出8种关键挥发性风味物质(ROAV>1),其中辛酸乙酯、 α -紫罗兰酮和乙酸己酯的ROAV ≥ 10 ,对‘雷司令’低醇葡萄酒呈香起决定性作用,贡献了浓郁的水果香气、紫罗兰香、中草药香及木香,辛酸和己酸这类酸类物质为酒体提供了奶酪味及脂肪味,阈值较小因此未对酒体香气协调性造成不良影响。酒体中其余物质的阈值均<0.1,因此辛酸、己酸、正己醇、乙酸己酯、辛酸乙酯、乙酸异戊酯、2-苯乙基乙酸酯和 α -紫罗兰酮这8种物质是酒体香气的主要挥发性贡献化合物。

癸酸乙酯是‘雷司令’干白葡萄酒独有的协同呈香物质, α -紫罗兰酮是‘雷司令’低醇葡萄酒独有的关键挥发性风味物质(ROAV>1),为酒体贡献了独特的紫罗兰香和木香。辛酸、己酸和正己醇在‘雷司令’低醇葡萄酒中香气贡献明显,是酒体关键挥发性风味物质(ROAV>1)。

3 结论

本研究通过HS-SPME-GC-MS技术结合主成分分析,对比‘雷司令’干白葡萄酒与利用渗透蒸发法制备的‘雷司令’低醇葡萄酒的挥发性风味物质。结果表明,相较于‘雷司令’干白葡萄酒,‘雷司令’低醇葡萄酒中酸类物质和正己醇等醇类物质相对含量显著上升($P<0.05$),而酯类物质相对含量下降20.52%,其中乙酸异戊酯、乙酸己酯、辛酸乙酯和己酸乙酯占比显著下降($P<0.05$)。主成分分析发现,酯类物质与酸类物质的平衡及萜烯类物质是区分两种酒样的关键因子。基于ROAV>1筛选出‘雷司令’低醇葡萄酒中辛酸乙酯、 α -紫罗兰酮和己酸乙酯等8种关键挥发性风味物质,赋予酒体水果香和紫罗兰木香,而‘雷司令’干白葡萄酒则以乙酸异戊酯和己酸乙酯等酯类物质为主导,酒体呈现典型的果香特征。未来需进一步优化膜工艺参数,以减少高阈值香气成分的流失,并结合感官评价验证风味协调性。

参考文献:

[1] 郑永丽. 低醇葡萄酒的脱醇工艺及产品研发[D]. 银川:宁夏大学,2021.

[2] 吕泽,黎进雪,武运,等. 基于渗透汽化膜生产脱醇葡萄酒、葡萄烈酒的安全性分析[J]. 中国酿造,2022,41(12):56-60.

[3] ESTERAS-SAZ J, DE LA IGLESIA O, MARECHAL W, et al. PVDF hydrophobic hollow fiber membrane modules for partial dealcoholization of red wine by osmotic distillation as a strategy to minimize the loss of aromas[J]. *Food Bioprod Process*, 2024, 143: 191-201.

[4] CASTRO-MUÑOZ R. Pervaporation-based membrane processes for the production of non-alcoholic beverages[J]. *J Food Sci Technol*, 2019, 56(5): 2333-2344.

[5] PENG P, LAN Y, LIANG L, et al. Membranes for bioethanol production by pervaporation[J]. *Biotechnol Biofuel*, 2021, 14: 1-33.

[6] 吕泽. 基于渗透汽化膜分离技术的脱醇葡萄酒、葡萄烈酒品质及安全性分析[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2022.

[7] 成晓玲,庄玉婷,李艳. 气相色谱及气质联用在葡萄酒香气成分分析检测中的应用进展[J]. 酿酒科技,2010(11):83-86.

[8] 王琳琳,张佰清,王萍,等. HS-SPME-GC-MS结合ROAV分析藜麦茶及藜麦芽茶的香气成分[J]. 食品研究与开发,2025,46(3):167-173.

[9] SUN X, DANG G, DING X, et al. Production of alcohol-free wine and grape spirit by pervaporation membrane technology[J]. *Food Bioprod Process*, 2020, 123: 262-273.

[10] 师旭,李长征,李福东,等. 不同容器陈酿‘雷司令’干白葡萄酒理化品质及香气成分分析[J]. 中国酿造,2023,42(10):182-188.

[11] 曹炜玉,路文鹏,舒楠,等. 葡萄酒风味物质及其影响因素研究进展[J]. 中国酿造,2022,41(5):1-7.

[12] 王美琪,武运,唐弦,等. 基于膜分离技术的低醇葡萄酒及葡萄烈酒香气成分分析[J]. 食品与发酵工业,2025,51(8):315-323.

[13] 曹炜玉. 山葡萄不同品种果实及其酿酒风味化合物差异研究 [D]. 北京:中国农业科学院,2023.

[14] 王珊,李婷婷,聂建光,等. 基于渗透汽化膜对清香型白酒风味成分分离的研究[J]. 酿酒科技,2025,46(2):27-30.

[14] SWIEGERS J H, PRETORIUS I S. Yeast modulation of wine flavor[J].

- Adv Appl Microbiol**, 2005, 57(5): 131-175.
- [16] 蒋娟,倪学理,陈正峻,等. 基于HS-GC-IMS陕西渭北旱塬地区赤霞珠桃红葡萄酒挥发性风味成分分析[J]. 中国酿造, 2025, 44(3): 264-271.
- [17] 李勇,刘沁沁,程炜,等. 小容器自然发酵‘美乐’葡萄酒中香气物质特征分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2025, 50(2): 62-73.
- [18] 吕泽,关毅军,王伟雄,等. 基于渗透汽化膜生产脱醇酒的香气成分及功能特性变化[J]. 现代食品科技, 2022, 38(6): 223-233.
- [19] 张文昊,陈新军,孙雪楠,等. 天山北麓玛纳斯小产区四种干红葡萄酒香气物质特征分析[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(8): 299-306.
- [20] 傅晓方,陈佳威,王文祺,等. 橡木制品对龙眼干白葡萄酒风味物质的影响[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(13): 98-105.
- [21] 陈巧迎,饶博涵,王凌云,等. ‘户太八号’桃红葡萄酒色泽与香气物质分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2023, 37(6): 85-91.
- [22] ZHANG Q W, KONG C L, TAO Y S. Fate of carotenoids in yeasts: Synthesis and cleavage[J]. **Crit Rev Food Sci Nutr**, 2022, 63(25): 11-15.
- [23] 张钰敏,魏珊杉,林积红,等. 天水地区花牛苹果主栽品种香气成分研究[J]. 中国果菜, 2024, 44(1): 15-20, 79.
- [24] 王龙霞,李全成,贾岐乾,等. 甘肃武威‘霞多丽’干白葡萄酒酒精发酵过程中真菌多样性与风味特征研究[J/OL]. 食品工业科技, 1-18[2025-05-16]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024120158>.
- [25] 郑茗源,索雨洁,张佳静,等. ‘白玫瑰’和‘红玫瑰’葡萄果实发育过程中香气物质变化规律及葡萄酒香气特征研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2025, 70(5): 1-15.
- [26] 翟梓皓,陆天亮,胡映譔,等. 两株高产 β -葡萄糖苷酶菌株对桃红葡萄酒香气品质的影响[J]. 中国酿造, 2024, 43(10): 18-25.
- [27] 韩雨岐,王建峰,关茹文,等. 苯并噻二唑施用对霞多丽葡萄和葡萄酒香气物质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(24): 58-67.
- [28] 李飞飞,王舒伟,董荣,等. ‘赤霞珠’葡萄果实成熟度对葡萄酒香气物质及感官特征的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(10): 244-255.
- [29] 商滢,陈胜,郝燕,等. 民勤产区自然发酵与接种发酵霞多丽干白葡萄酒香气成分及感官品质的对比分析[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(3): 317-323.
- [30] 王辉,朱丽霞,薛淑花,等. 戴尔凯氏有孢圆酵母对甜白葡萄酒香气品质的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2024, 48(6): 80-89.
- [31] 王诗,凌梦琪,李亚男,等. 不同类型橡木桶陈酿干红葡萄酒中橡木源挥发性香气物质差异分析[J]. 中国酿造, 2023, 42(5): 56-63.
- [32] 谢涵,兰义宾,向小凤,等. ‘公主白’干白葡萄酒关键香气物质分析[J]. 食品与生物技术学报, 2024, 43(9): 116-124.